

## ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНОГО ДВОИЧНОГО ДЕШИФРАТОРА

*Д.В. Гутенко, аспирант*

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*В работе произведена оценка помехоустойчивости линейного двоичного дешифратора. Получена доля обнаруживаемых ошибок, вероятности необнаруживаемых ошибочных переходов, правильного перехода, разрешённых и запрещённых переходов в дешифраторе.*

*У роботі зроблена оцінка завадостійкості лінійного двійкового дешифратора. Отримано частку помилок, що виявляють імовірності помилкових переходів, правильного переходу, дозволених і заборонених переходів у дешифраторі.*

### ВВЕДЕНИЕ

На базе двоичных дешифраторов можно реализовать различные устройства, такие как мультиплексоры, демультимплексоры, преобразователи кодов, ПЗУ. Поэтому повышение помехоустойчивости дешифраторов увеличивает помехоустойчивость этих устройств, что позволяет строить надёжные электронные системы. В основу алгоритмов обнаружения ошибок в дешифраторах положено их свойство вырабатывать сигнал только на одном из своих выходов. Ставится задача оценить помехоустойчивость таких двоичных дешифраторов.

### ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК В ДЕШИФРАТОРЕ

Комбинация на выходах любого дешифратора с  $N$  выходами представляет равновесный код, в котором разрешенными комбинациями являются комбинации с одной 1 единицей и  $N-1$  нулями. Примеры таких комбинаций для дешифратора с 16 выходами приведены в табл. 1. Кроме разрешённых комбинаций, имеются и запрещённые, часть из которых также приведена в табл. 1. Переход исходной разрешённой комбинации в запрещённую приводит к обнаруживаемым ошибкам, а переход исходной комбинации в любую другую разрешённую - к необнаруживаемым ошибкам.

*Таблица 1 – Примеры разрешённых и запрещённых комбинаций для дешифратора с 16 выходами*

Разрешённые комбинации															
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Запрещённые комбинации															
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1

Ошибки на выходах дешифратора, которые можно обнаружить, условно можно разделить на 2 вида:

- появление нулей на выходах дешифратора;
- появление более чем одной единицы на выходах дешифратора.

N-разрядная правильная комбинация на выходе дешифратора может перейти в любую другую из  $2^N$  возможных комбинаций, среди которых будет  $2^N - N$  обнаруживаемых ошибочных комбинаций. Кроме обнаруживаемых ошибочных комбинаций, существуют необнаруживаемые ошибочные комбинации, когда происходит переход правильной комбинации на выходе дешифратора в любую другую комбинацию с одной единицей. Количество необнаруживаемых ошибочных комбинаций равно  $N - 1$ , так как учитывается, что среди  $2^N$  комбинаций одна будет правильной. Тогда сумма всех обнаруживаемых и необнаруживаемых ошибочных комбинаций, а также правильной комбинации будет равна  $2^N$ , так как  $2^N - N + (N - 1) + 1 = 2^N$ . Число таких комбинаций равно числу переходов правильной комбинации в любую другую.

В соответствии с [1] максимальная доля обнаруживаемых ошибочных переходов для устройств такого типа будет равна

$$D = 1 - \frac{N}{2^N}. \quad (1)$$

Например, для рассмотренного выше дешифратора с 16 выходами доля обнаруживаемых ошибок соответственно равна:

$$D = 1 - \frac{16}{2^{16}} = 0,999756. \quad (2)$$

Полученный в рассматриваемом примере результат подтверждается имитационным моделированием, проведенным на вычислительной машине. Его результат приведен в табл. 2 и проиллюстрирован на рис. 1.

*Таблица 2 – Результаты моделирования*

Количество опытов	Количество случаев обнаружения ошибки	Доля обнаруживаемых ошибок
100	100	1
1000	1000	1
10000	9999	0,9999
100000	99974	0,99974
1000000	999729	0,999729
10000000	9997562	0,999756
100000000	99975692	0,999757
1000000000	999755035	0,999755

Как видно из табл. 2 и рис. 1, с увеличением количества опытов доля обнаруженных ошибок стремится к значению, полученному из выражения (2).

На рис. 2 отражена зависимость доли обнаруживаемых ошибок от числа выходов дешифратора. Оси x соответствует число выходов, а оси y

– значение доли обнаруживаемых ошибок в дешифраторе. При увеличении количества выходов дешифратора эта доля стремится к 1. Это связано с тем, что с увеличением числа выходов дешифратора количество запрещенных комбинаций в нём возрастает значительно быстрее, чем количество разрешённых.

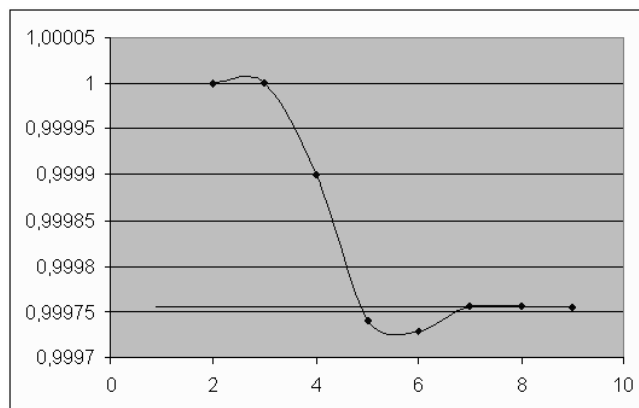


Рисунок 1 – Зависимость доли обнаруживаемых ошибок от числа проведённых опытов

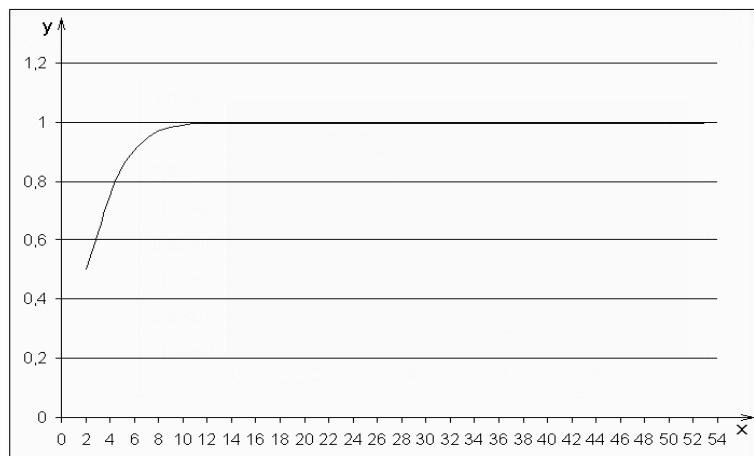


Рисунок 2 – Зависимость доли обнаруживаемых ошибок от числа выходов дешифратора

Немаловажным фактором при определении надёжности дешифратора являются значения вероятностей перехода сигналов на его выходах из 1 в 0 ( $P_{10}$ ) и из 0 в 1 ( $P_{01}$ ). Вероятности перехода из 0 в 0 ( $P_{00}$ ) и из 1 в 1 ( $P_{11}$ ) соответственно равны:

$$P_{00} = 1 - P_{01} \quad , \quad (3)$$

$$P_{11} = 1 - P_{10} \quad . \quad (4)$$

При правильной передаче, чему соответствует переход комбинации в саму себя, единица должна перейти в единицу, а во всех остальных разрядах нули должны перейти в нули. Для исходной комбинации вероятность правильного перехода равна

$$\Pi = (P_{00})^{N-1} P_{11}. \quad (5)$$

При необнаруживаемом ошибочном переходе одна разрешенная комбинация должна перейти в другую разрешенную, то есть в комбинацию с одной единицей и  $N-1$  нулями. Это возможно, если единичный разряд перейдет в нулевой, а один нулевой перейдет в единицу. Все остальные  $N-2$  нуля должны остаться нулями. Соответственно вероятность перехода правильной комбинации в любую другую разрешенную комбинацию

$$V = (N-1)(P_{00})^{N-2} P_{10} P_{01}. \quad (6)$$

Исходя из формул 5 и 6, определим вероятность перехода правильной комбинации в любую разрешенную комбинацию, в том числе и в саму себя:

$$W = (N-1)(P_{00})^{N-2} P_{10} P_{01} + (P_{00})^{N-1} P_{11}. \quad (7)$$

Следовательно, вероятность перехода правильной комбинации в любую запрещенную комбинацию равна:

$$Z = 1 - W = 1 - (N-1)(P_{00})^{N-2} P_{10} P_{01} - (P_{00})^{N-1} P_{11}. \quad (8)$$

Для определения среднего значения вероятностей переходов правильных комбинаций в необнаруживаемые ошибочные и в саму себя используем выражения, полученные в [2]. Там было доказано, что вероятностные величины, которые характеризуют одну комбинацию равновесного кода, могут применяться для средней величины, характеризующей весь код. Случай для равновесных кодов с одной единицей является частным случаем, и к нему применимы более общие формулы, доказанные в [2] для вероятностей правильных переходов и необнаруживаемых ошибочных переходов:

$$\bar{\Pi} = \sum_{i=1}^{C_N^k} P_i \Pi_i = \sum_{i=1}^{C_N^k} P_i p_{00}^{N-k} p_{11}^k = p_{00}^{N-k} p_{11}^k \sum_{i=1}^{C_N^k} P_i = p_{00}^{N-k} p_{11}^k = \Pi, \quad (9)$$

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^{C_N^k} P_i V_i = \sum_{r=1}^k C_k^r C_{N-k}^r p_{01}^r p_{10}^r p_{00}^{N-k-r} p_{11}^{k-r} \sum_{i=1}^{C_N^k} P_i = V_i \sum_{i=1}^{C_N^k} P_i = V. \quad (10)$$

Так как для данного случая количество единиц в комбинации  $k=1$ , то выражения 9 и 10 приобретают вид

$$\bar{\Pi} = \sum_{i=1}^N P_i \Pi_i = \sum_{i=1}^N P_i p_{00}^{N-1} p_{11}^1 = p_{00}^{N-1} p_{11} \sum_{i=1}^N P_i = p_{00}^{N-1} p_{11} = \Pi, \quad (11)$$

$$\bar{V} = (N-1) p_{01}^1 p_{10}^1 p_{00}^{N-2} p_{11}^0 \sum_{i=1}^N P_i = V_i \sum_{i=1}^N P_i = V_i = (N-1) p_{01} p_{10} p_{00}^{N-2} = V. \quad (12)$$

Значения  $V$  и  $\Pi$ , полученные нами ранее из выражений (5,6), совпадают со значениями, вычисленными из более общих формул (11,12). Из них также следует, что вероятности перехода правильной комбинации в саму себя и необнаруживаемых ошибочных переходов, соответственно равны:

$$\bar{\Pi} = (P_{00})^{N-1} P_{11}, \quad (13)$$

$$\bar{V} = (N-1)(P_{00})^{N-2} P_{10} P_{01}. \quad (14)$$

На основе выражений 13, 14 получим выражения для разрешённых и запрещённых переходов

$$\bar{W} = \Pi + V = (N-1)(P_{00})^{N-2} P_{10} P_{01} + (P_{00})^{N-1} P_{11}, \quad (14)$$

$$\bar{Z} = 1 - W = 1 - (N-1)(P_{00})^{N-2} P_{10} P_{01} - (P_{00})^{N-1} P_{11}. \quad (15)$$

Для двоичного дешифратора с 16 выходами и  $P_{00} = 0,96$ ,  $P_{11} = 0,98$  эти величины принимают значения:  $\Pi = 0,531245$ ,  $V = 0,006776$ ,  $W = 0,538021$ ,  $Z = 0,461979$ .

Согласно результатам моделирования при увеличении числа опытов отношение количества обнаруживаемых ошибок к числу опытов стремится к величине вероятности обнаруживаемых ошибок, что подтверждает правильность произведённых расчётов (см. табл. 3, рис. 3).

Таблица 3 – Результаты моделирования

	Количество опытов	Количество случаев обнаружения ошибки	Доля обнаруживаемых ошибок
2	100	55	0,55
3	1000	477	0,477
4	10000	4718	0,4718
5	100000	45949	0,45949
6	1000000	462411	0,462411
7	10000000	4623461	0,4623461
8	100000000	46199040	0,4619904
9	1000000000	462000854	0,46200085

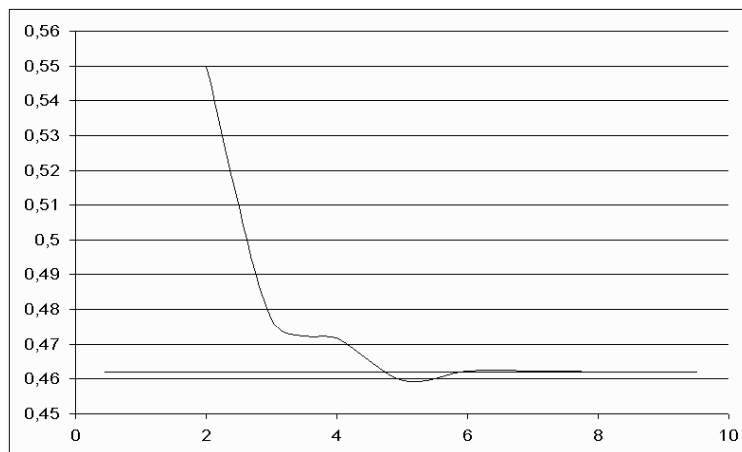


Рисунок 3 – Зависимость доли обнаруженных ошибок от количества проведённых опытов

На рис. 4 изображён график зависимости среднего значения вероятности обнаруживаемых ошибок от числа выходов дешифратора при фиксированных значениях  $P_{00} = 0,96$ ,  $P_{11} = 0,98$ . Оси  $x$  соответствует число выходов дешифратора, а оси  $y$  – значение средней вероятности обнаруживаемой ошибки. Как видно из графика, вероятность обнаруживаемой ошибки возрастает и стремится к единице.

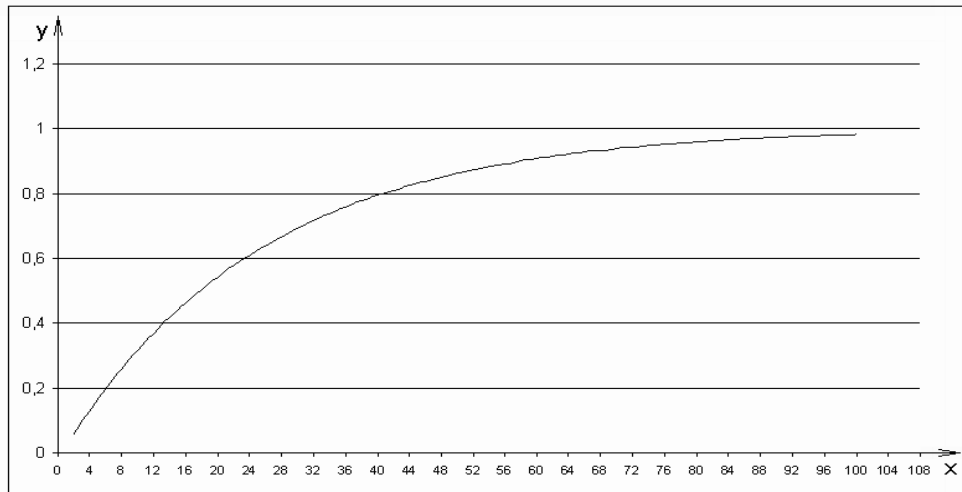


Рисунок 4 - График зависимости среднего значения вероятности обнаруживаемых ошибок от числа выходов дешифратора при фиксированных значениях  $P_{00} = 0,96$ ,  $P_{11} = 0,98$

#### ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований была рассмотрена эффективность обнаружения ошибок выходных комбинаций двоичного дешифратора. Были получены значения доли обнаруживаемых ошибок, вероятности необнаруживаемых ошибочных переходов, правильного перехода, разрешённых и запрещённых переходов.

Работа написана в рамках темы, проводимой на кафедре электроники и компьютерной техники, «Методы кодирования информации в электронных системах».

#### SUMMARY

#### ESTIMATION OF THE NOISE IMMUNITY OF THE LINEAR BINARY DECODER

*D.V.Gutenko*

*Sumy State University*

*In this article the analysis of the efficiency of a simple binary decoder's work has been carried out. As a result of the researches formulas of some characteristics of reliability of the device have been received.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березюк Н.Т. Кодирование информации: Справочник. – Харьков: Вища школа, 1978, С. 64.
2. Борисенко А.А., Бережная О.В. Оценка помехоустойчивости системы передачи на основе равновесных кодов // Вісник СумДУ. – 1999. - №1(12). - С. 79 – 82.

*Поступила в редакцию 24 марта 2009 г.*